



TECON
PCC 2341

Vida Útil das Estruturas de Concreto

Equipe de Professores

Antonio Figueiredo Silvia Selmo
Paulo Helene Vahan Agopyan
Rafael Pileggi Vanderley John

1



Bibliografia de referência

- MEHTA, Kumar & MONTEIRO, Paulo. CONCRETO. Microestrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo, IBRACON, 2008. 675p.
Capítulo 5 → Durabilidade
- ABNT → NBR 6118:2003; NBR 12655:2006; NBR 14931:2004; ISO 15686-2:2001
Buildings and Constructed Assets . Service Life Planning
- ISALA, Geraldo (editor). CONCRETO: Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo, IBRACON, 2005. v. 1, v.2, 1579p.
Capítulo 24 → Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto → *Maryangela Geimba de Lima*
Capítulo 25 → Tópicos sobre Durabilidade do Concreto → *Tibério Andrade*
Capítulo 26 → Mecanismos de Transporte de Fluidos no Concreto → *Antonio Alberto Nepomuceno*
Capítulo 31 → Vida Útil das Estruturas de Concreto → *Jairo José de Oliveira Andrade*

2



Importância

- projetar adequadamente;
- atender às exigências do Código de Proteção ao Consumidor;
- prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas:
- “contribuir” para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas

3



NBR 6118:2003; NBR 12655:2006; NBR 14931:2004

1. Define
2. Enumera os responsáveis
3. Classifica agressividade ambiental em 4 classes
4. Descreve 4 mecanismos de deterioração do concreto ; 2 das armaduras e 1 da estrutura
5. Recomenda detalhamento
6. Para cada classe recomenda qualidade do cobrimento
7. Para cada classe recomenda espessura mínima de cobrimento à armadura
8. Recomenda cura
9. Controla fissuração e flechas
10. Recomenda medidas especiais
11. Exige manutenção

4



NBR 6118:2003 “define”

5.1.2.3 DURABILIDADE:

“Consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto.”

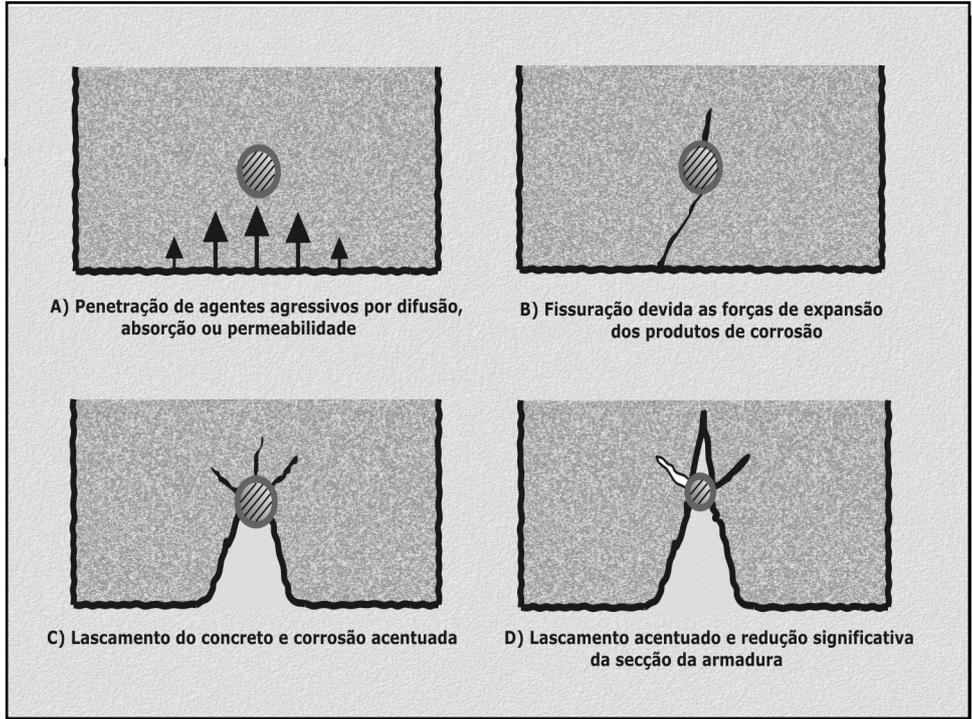


Vida Útil das Estruturas de Concreto

BS 7543, 1992

| Vida Útil | Tipos | Exemplos |
|-----------|-------------------|--|
| < 10 anos | Temporárias | obras temporárias, divisórias, tapumes etc. |
| 10 anos | Pequena Vida útil | construções usadas para processos industriais de curta duração |
| 30 anos | Média Vida útil | a maiorias das construções industriais |
| 60 anos | Vida útil normal | obras públicas, escolas, hospitais, casas, edifícios |
| 120 anos | Vida útil longa | obras de grande responsabilidade como barragens, pontes, metros, ... |

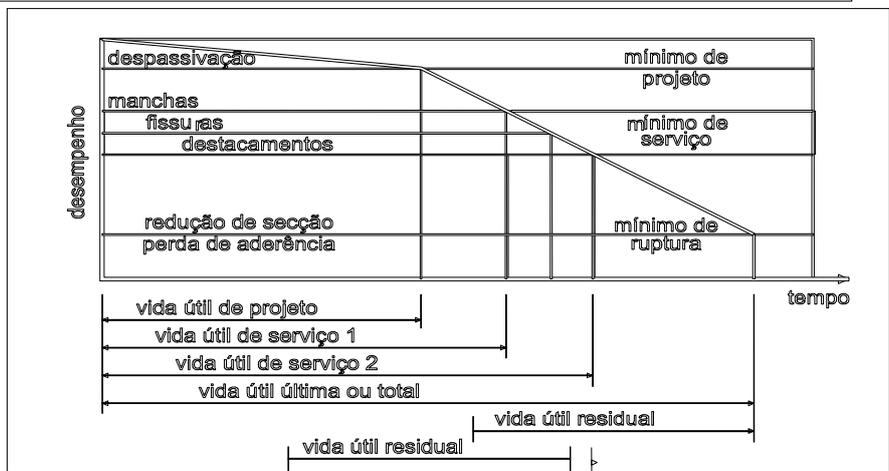
Guide to Durability of Buildings and Building Elements, Products and Components



7



Vida Útil das Estruturas de Concreto



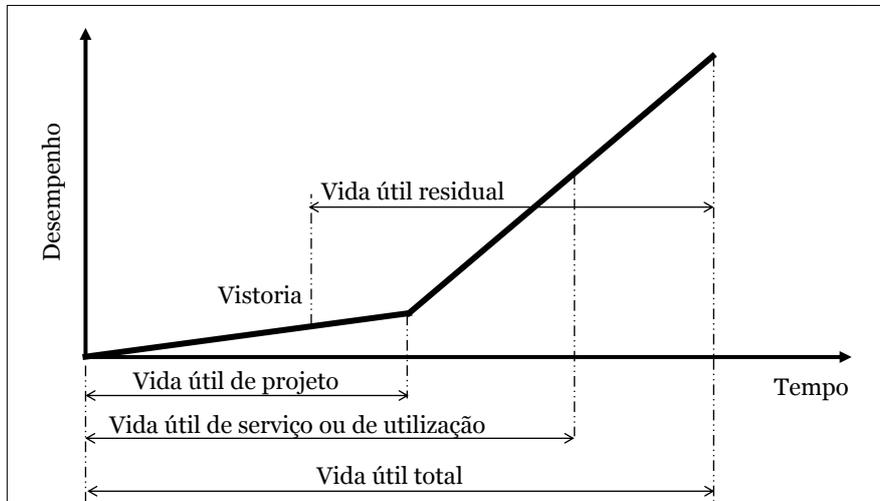
Conceituação de vida útil das estruturas de concreto tomando-se por referência o fenômeno de corrosão das armaduras

8



Tipos de Vida Útil

Colapso ou perda inaceitável de funcionalidade



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

9

9



NBR 6118:2003 “define”

6.1 EXIGÊNCIAS de DURABILIDADE

“As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil”

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

10

10



NBR 6118:2003 **“define”**

6.2 VIDA ÚTIL de PROJETO

6.2.1 Período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

6.2.2 O conceito de vida útil aplica-se ao todo e às suas partes, independentemente.



NBR 6118:2003 **“define”**

7.8 INSPEÇÃO e MANUTENÇÃO PREVENTIVA

7.8.1 O conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção.

7.8.2 O Manual de Utilização, Inspeção e Manutenção deve ser produzido conforme 25.4.



NBR 6118:2003 **“define”**

25.4 MANUAL de UTILIZAÇÃO, INSPEÇÃO e MANUTENÇÃO

“Dependendo do porte da construção e da agressividade do meio e de posse das informações dos projetos, dos materiais e produtos utilizados e da execução da obra, deve ser produzido por profissional habilitado, devidamente contratado pelo Contratante, um manual de utilização, inspeção e manutenção. Esse Manual deve explicitar de forma clara e sucinta, os requisitos básicos para a utilização e a manutenção preventiva, necessárias para garantir a vida útil prevista para a estrutura conforme indicado na NBR 5674”



NBR 5674:???? Manutenção de Edificações. Procedimento

3.4 MANUAL DE OPERAÇÃO, USO E MANUTENÇÃO

Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação.

Deve ser elaborado em conformidade com a NBR 14037 Manual de operação, uso e manutenção das edificações. Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação.



Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)



Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

| | |
|------|------------|
| 1903 | Suíça |
| 1903 | Alemanha |
| 1906 | França |
| 1907 | Inglaterra |



Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

STANDARD BUILDING REGULATIONS for the USE of REINFORCED CONCRETE
National Association of Cement Users Philadelphia, USA, Feb.1910

“the main reinforcement in column shall be protect by a minimum of two inches (> 5cm) of concrete cover, reinforcement in beams by one and one-half inches (> 3,8cm) and floor slabs by one inch (>2,5 cm).”



Modelos de Previsão de Vida Útil

Experiência

Norma Brasileira de 1931

- ✓ Água não pode conter cloreto, sulfatos e matéria orgânica
- ✓ Cobrimento $\geq 1,0\text{cm}$ p/lajes
- ✓ Cobrimento $\geq 1,5\text{cm}$ p/vigas
- ✓ Cobrimento $\geq 2,0\text{cm}$ p/pilares



Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaios Acelerados

“risco de alterar o mecanismo que ocorre ao natural”

1. *Carbonatação acelerada*
2. *Migração de Cl⁻ acelerada*
3. *Difusão de Cl⁻ acelerada*
4. *Permeabilidade acelerada*
5. *Outros mecanismos*



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Carbonatação acelerada



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

21

21



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Migração de Cl⁻ acelerada



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

22

22



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Difusão de Cl⁻ acelerada



Imersão em solução de NaCl por um determinado tempo

Coefficiente de difusão de Cl⁻



Modelos de Previsão de Vida Útil

Ensaio Acelerados Permeabilidade acelerada





Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaios Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)



Principais mecanismos de transporte que atuam no concreto

- *Permeabilidade (gradiente de pressão A&G);*
- *Sucção capilar (forças capilares de A);*
- *Difusão (gradiente de concentração salina, temperatura ou densidade AI&G);*
- *Migração (diferença de potencial AI&G).*

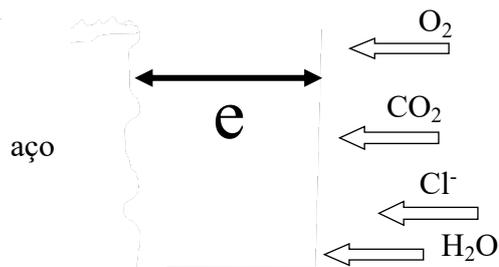


Modelos de Previsão de Vida Útil

Mecanismos de Transporte (determinísticos)

Generalização

$$e = k \cdot \sqrt{t}$$



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

27

27



Carbonatação

$$t = \frac{e_{CO_2}^2}{k_{CO_2}^2} \quad (\text{anos})$$

➤ $e_{CO_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{CO_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

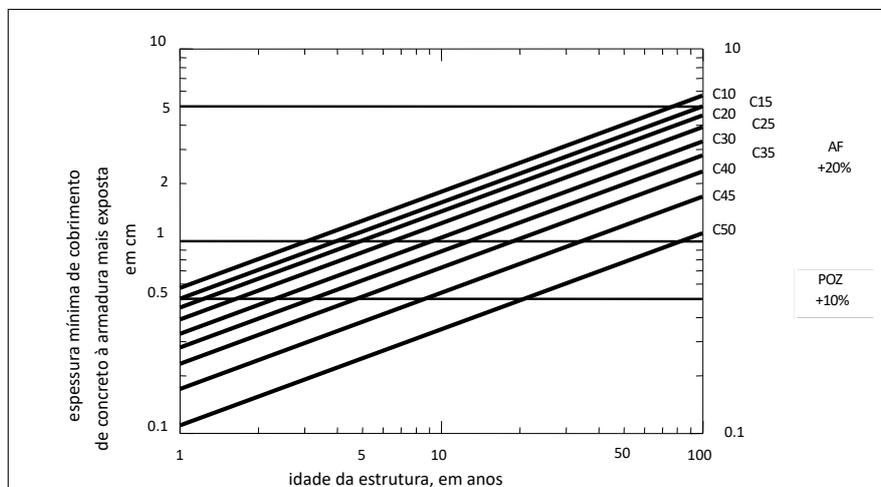
28

28



Carbonatação

em faces dos componentes estruturais de concreto expostos à intempérie externas



Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

29

29



Modelos de Previsão de Vida Útil

- ✓ Experiência
- ✓ Ensaio Acelerados
- ✓ Mecanismos de Transporte (determinísticos)
- ✓ Estocásticos (probabilístico)

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

30

30



Modelos de Previsão de Vida Útil

Estocásticos (probabilístico)

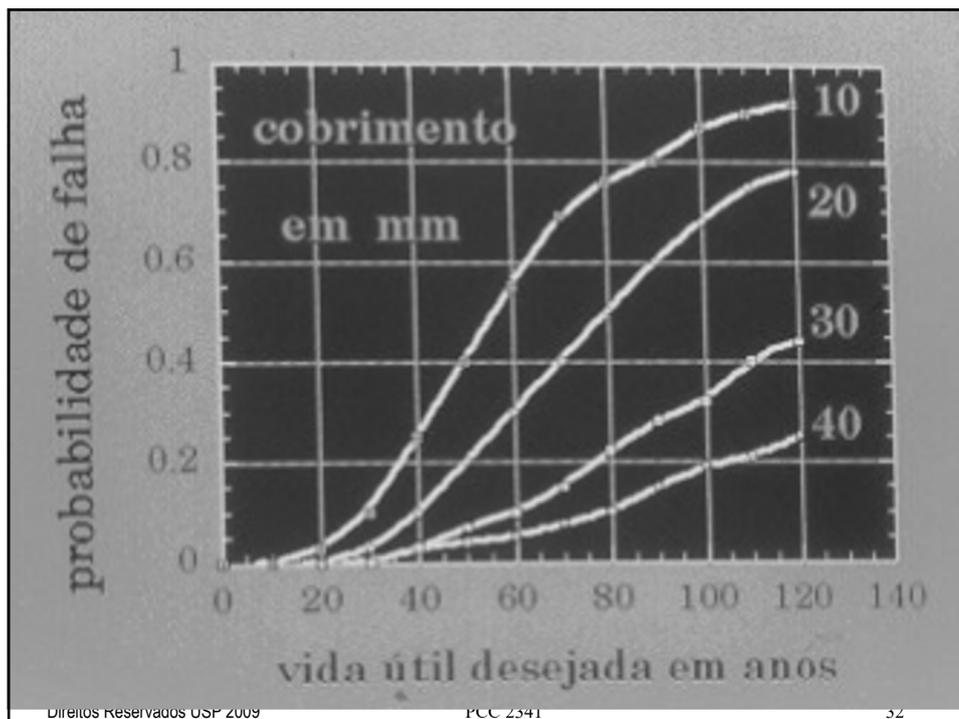
Estatística aplicada aos modelos determinísticos

Estocásticos (probabilístico)

Conceito de risco (Probabilidade de falha)

Ainda pouco utilizado

31



32



NBR 12655:2006 **“enumera responsáveis”**

4. ATRIBUIÇÕES de RESPONSABILIDADES

A durabilidade das estruturas de concreto requer cooperação e esforço coordenados de pelo menos seis responsáveis:

- ✓ *proprietário,*
- ✓ *responsável pelo projeto arquitetônico,*
- ✓ *responsável pelo projeto estrutural,*
- ✓ *responsável pela tecnologia do concreto,*
- ✓ *responsável pela execução da estrutura/obra,*
- ✓ *proprietário/usuário da estrutura/obra.*



NBR 6118:2003 **“descreve mecanismos de deterioração e envelhecimento”**

6.3.2 Concreto

- ✓ *lixiviação;*
- ✓ *expansão → sulfatos*
- ✓ *expansão → AAR*
- ✓ *intemperismo → pirita/ferruginosos*

6.3.3 Aço

- ✓ *corrosão por carbonatação*
- ✓ *corrosão por cloretos*

6.3.4 Estrutura

*ações mecânicas, movimentações térmicas, impactos,
ações cíclicas, retração, fluência e relaxação*



NBR 6118:2003

“classifica agressividade ambiental”

Tabela 6.1 Classes de Agressividade Ambiental

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|--|------------------------------------|
| I | Fraca | Rural | Insignificante |
| | | Submersa | |
| II | Moderada | Urbana ^{1), 2)} | Pequeno |
| III | Forte | Marinha ¹⁾ | Grande |
| | | Industrial ^{1), 2)} | |
| IV | Muito forte | Industrial | Elevado |
| | | Respingo de maré ^{1), 3)} | |

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

35

35



NBR 6118:2003

“classifica agressividade ambiental”

- 1) uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).
- 2) uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65% partes de estruturas protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.
- 3) Ambientes quimicamente agressivos tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.

Direitos Reservados USP 2009

PCC 2341

36

36



NBR 6118:2003 “recomenda detalhamentos”

7.1 Simbologia

c_{min} → *cobrimento mínimo de concreto à armadura, referido à distância entre a superfície do componente estrutural e a face mais externa da armadura (em geral estribo)*

c_{nom} → *cobrimento nominal ($c_{min} + \Delta_c$)*

UR → *umidade relativa do ar em %*

Δ_c → *tolerância da espessura de cobrimento*

7.2 Drenagem

Limpeza, lavagem, águas pluviais, condutores, ralos, rufos, chapins, pingadeiras, juntas de movimentação, juntas de construção, selantes, troca de aparelhos de apoio, acessos a caixões “perdidos”, insertos, renovação da impermeabilização (estanqueidade), etc.



NBR 6118:2003 % NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”

7.4.1 *Devem existir estudos experimentais. Na falta adotar Tabela 7.1. (Tabela 2)*

Tabela 7.1 (2) Correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto

| Concreto | Tipo | Classe de Agressividade | | | |
|--------------------------------------|--------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | I | II | III | IV |
| relação água/cimento em massa | CA | $\leq 0,65$ | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,45$ |
| | CP | $\leq 0,60$ | $\leq 0,55$ | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ |
| classe de concreto (NBR 8953) | CA | $\geq C20$ | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C40$ |
| | CP | $\geq C25$ | $\geq C30$ | $\geq C35$ | $\geq C40$ |
| consumo de cimento kg/m ³ | CA /CP | ≥ 260 | ≥ 280 | ≥ 320 | ≥ 360 |



NBR 6118:2003 % NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”

Tabela 3 Requisitos para o concreto em condições especiais de exposição

| Concreto | Concreto de baixa permeabilidade à água | Concreto sujeito a gelo e degelo | Concreto sujeito a sais de degelo; água salgada; água de mar; zona de respingos de maré |
|-------------------------------|---|----------------------------------|---|
| relação a/c em massa | $\leq 0,50$ | $\leq 0,45$ | $\leq 0,40$ |
| classe de concreto (NBR 8953) | $\geq C35$ | $\geq C40$ | $\geq C45$ |



NBR 6118:2003 % NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”

Tabela 4 Requisitos para concreto exposto a soluções contendo sulfatos

| classe de agressividade | teor de sulfato solúvel na água do solo (SO ₄), % em massa | teor de sulfato solúvel na água (SO ₄), % em massa | relação a/c | classe de concreto (NBR 8953) |
|-------------------------|--|--|-------------|-------------------------------|
| água de mar | 0,10 a 0,20 | 0,015 a 0,15 150ppm a 1500ppm | < 0,50 | > C35 |
| esgotos, indústrias | > 0,20 | > 0,15 > 1500ppm | < 0,45 | > C40 |

Obs.: sempre dar preferência a cimentos resistentes a sulfatos conforme NBR 5737



NBR 6118:2003 % NBR 12655:2006 “qualidade do cobrimento”

Tabela 5 Teor máximo de cloretos no concreto para proteção às armaduras

| classe de agressividade e tipo de estrutura | teor total de íons cloreto Cl ⁻ , % em massa de cimento |
|---|---|
| concreto protendido | < 0,05 |
| concreto armado exposto a cloretos | < 0,15 |
| concreto armado em ambiente seco | < 0,40 |
| outras situações | < 0,30 |

Obs.: proibido o uso de aditivos contendo cloretos.



NBR 6118:2003 “espessura do cobrimento”

7.4.7.5 $c_{nom} \geq \phi$ barra ou fio;
 $c_{nom} \geq \phi$ feixe = $\phi_n = \phi$ raiz (ng)
 $c_{nom} \geq 0,50 \phi$ bainha
 $c_{nom} \geq 0,83 \phi d_{max}$
 $c_{nom} \geq 15\text{mm}$ *sempre!*



NBR 6118:2003

“espessura do cobrimento”

Tabela 7.2 Correspondência entre classe de agressividade ambiental e espessura de cobrimento nominal para $\Delta_c = 10\text{mm}$

| tipo de estrutura | componente | classe de agressividade | | | |
|---------------------|--------------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | I | II | III | IV |
| concreto armado | laje | ≥ 20 | ≥ 25 | ≥ 35 | ≥ 45 |
| | viga / pilar | ≥ 25 | ≥ 30 | ≥ 40 | ≥ 50 |
| concreto protendido | todos | ≥ 30 | ≥ 35 | ≥ 45 | ≥ 55 |

7.4.7.4 Para controle de qualidade rigoroso e rígidos limites de tolerância da execução, permite-se adotar $D_c = 5\text{mm}$ e portanto reduzir em 5mm os limites da Tabela 7.2 (cuidado com anti-ética!)

7.4.7.7 Para pré-moldados seguir NBR 9062.



NBR 6118:2003

“controle da fissuração”

Tabela 13.3 Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

| tipo de estrutura | combinações de ações em serviço a utilizar | classe de agressividade | | |
|---|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | I | II & III | IV |
| concreto simples | -- | qq | qq | qq |
| concreto armado | combinação frequente | $W_k \leq 0,4\text{mm}$ | $W_k \leq 0,3\text{mm}$ | $W_k \leq 0,2\text{mm}$ |
| concreto protendido, nível 1, protensão parcial | combinação frequente | $W_k \leq 0,4\text{mm}$ | $W_k \leq 0,2\text{mm}$ | <i>nihil</i> |



NBR 6118:2003 **“controle da fissuração”**

1. Só vale para componentes fletidos e nas condições de serviço. E.L.S.;
2. Só vale para a abertura de fissura na superfície do componente e na direção transversal à armadura principal;
3. Como controlar fissuras decorrentes de efeitos térmicos, retração, expansão, corrosão do aço?
4. As consequências de uma fissura são somente corrosão do aço/armadura, ou seja, durabilidade?
5. Conta efeito psicológico?
6. E mecânico de comportamento global?



NBR 14931:2004 **“controle da execução”**

10.1 Cura e cuidados especiais

- ✓ Para fins de assegurar eficiente hidratação do cimento é necessário curar com água potável ou alcalina as superfícies expostas do concreto até que este atinja 15MPa;
- ✓ Para fins de assegurar qualidade da superfície do ponto de vista da abrasão e acabamento deve-se curar até atingir 0,85 de f_{ck} ;
- ✓ Para evitar fissuração deve-se curar até que a resistência do concreto à tração supere as tensões de tração decorrentes dos esforços de retração restringida;
- ✓ Vale para retração hidráulica e para retração térmica.



NBR 6118:2003 ***“medidas especiais”***

7.7 “Em condições de exposição adversas devem ser tomadas medidas especiais do tipo:

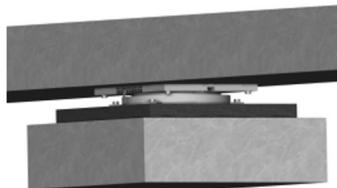
- ✓ aplicação de revestimento hidrofugantes;
- ✓ pinturas impermeabilizantes;
- ✓ revestimentos de argamassas e cerâmicas ou outros;
- ✓ galvanização da armadura;
- ✓ proteção catódica da armadura;
- ✓ outros.



Considerações Finais

Toda estrutura de concreto pode conter elementos com vida útil inferior a desta.

Exemplos:



Aperelhos de apoio



Proteção superficial de concreto



Considerações Finais



Colapso de metade do
Edifício Palace II
Barra da Tijuca, RJ 1974

Diagnóstico:
um dos pilares foi projetado e
construído para 270t e na realidade
deveria suportar 420t

Mensagem final

O conceito de Vida Útil não resolve
problemas de erros grosseiros,
ganância, omissões, falta de ética,
desonestidade, malandragem.